

У роботі представлені результати досліджень динамічних в'язкопружних властивостей матеріалів методом позовжніх резонансних коливань. Запропоновано пряме, безпосереднє визначення кута механічних втрат за спрощеним алгоритмом технічного відтворення, що не потребує вимірювання амплітуди коливань. Визначено модуль пружності матеріалу методом позовжніх резонансних коливань

Ключові слова: в'язкопружні властивості, модуль пружності, декремент загасання, кут механічних втрат

В работе представлены результаты исследований динамических вязкоупругих свойств материалов методом продольных резонансных колебаний. Предложено прямое, непосредственное определение угла механических потерь по упрощенному алгоритму технического воспроизведения, не требующего измерения амплитуды колебаний. Определен модуль упругости материала методом продольных резонансных колебаний

Ключевые слова: вязкоупругие свойства, модуль упругости, декремент затухания, угол механических потерь

1. Вступ

Сучасні тенденції розвитку промисловості характеризуються розширенням асортименту продукції у відповідності до швидкоплинності зростання потреб споживачів, підвищення вимог до точності та достовірності методів оцінювання фізико-механічних характеристик широкого кола текстильних, плівкових та шкіряних матеріалів для забезпечення їх конкурентоспроможності на світовому ринку. Це обумовлено необхідністю вдосконалення існуючих та створення нових методів оцінювання властивостей матеріалів легкої промисловості як під час технологічного процесу їх виробництва, так і в процесі експлуатації.

Справа в тому, що існуючі методи випробувань в більшості випадків спрямовані на спрощення однокритеріальної задачі оцінювання якісних показників, що обмежує можливість їх застосування для комплексної оцінки. Для отримання достовірних багатокритеріальних оцінок необхідно мати такі методи, які б дозволили отримати комплексні характеристики фізико-механічних властивостей матеріалів в широкому температурно-часовому діапазоні.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

При вивченні пружних і спадкових властивостей текстильних матеріалів та полімерних плівок,

УДК 667.017.56
DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31202

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ПОЗДОВЖНІХ РЕЗОНАНСНИХ КОЛИВАНЬ

С. А. Демішонкова

Старший викладач

Кафедра електромеханічних систем

Київський національний університет

технологій та дизайну

вул. Неміровича-Данченка, 2,

м. Київ, Україна, 01011

E-mail: mashuk2007@ukr.net

разом із загальноприйнятими вимогами [1, 2], виникають додаткові умови, що накладаються на методи випробувань [3–5].

Випробувальне устаткування, яке використовується для жорстких полімерних матеріалів [6], виявляється непридатним для дослідження тонких текстильних та плівкових матеріалів зважаючи на велику інерційність системи деформації.

Затискні пристрої існуючих експериментальних машин не забезпечують надійного кріплення тонких текстильних матеріалів та плівок $(0,003 \div 0,4) \cdot 10^{-3}$ м без порушення цілісності поверхневого шару. Незначна товщина зазначених матеріалів не дозволяє встановлювати безпосередньо на зразках пристрої для вимірювання позовжніх і поперечних деформацій, а тому деформацію зразка необхідно вимірювати за переміщенням активного затискача випробувального пристрою або за зміною відстані між реперними точками, нанесеними на поверхню зразка.

Описані системи навантаження і реєстрації деформацій, [6, 7] стосовно тонких текстильних матеріалів та полімерних плівок мають ряд істотних недоліків, що обмежують використання їх в якості прототипів випробувальних установок, призначених для дослідження динамічних властивостей, повзучості і релаксації напруги текстильних матеріалів та полімерних плівок.

Найбільш важливими характеристиками, що визначають експлуатаційні властивості текстильних

матеріалів та полімерних плівок, є пружні константи. В роботах [8–10] визначені деякі фізико-механічні властивості текстильних та трикотажних матеріалів, але не запропоновано методів їх визначення в умовах виробництва готового одягу та взуття.

Визначення пружних констант текстильних матеріалів та полімерних плівок простіше і точніше проводити динамічними методами [7, 11, 12]. Зважаючи на специфічні особливості, а саме малі товщини і жорсткості текстильних матеріалів та полімерних плівок, важко, а іноді практично неможливо, визначити пружні постійні із статичних випробувань. Існує чітка кореляція між хімічною будовою, структурною, молекулярною рухливістю полімерів і такими характеристиками динамічних випробувань як компоненти комплексних модулів пружності, швидкість звуку і коефіцієнт загасання. Динамічні методи дозволяють швидко і точно вимірювати динамічний модуль пружності і механічні втрати. Особливістю динамічних неруйнівних випробувань є те, що їх використання не приводить до зміни структури матеріалів і руйнування досліджуваних зразків. У цьому сенсі динамічні неруйнівні методи не можуть бути замінені найнадійнішими статичними методами.

Для динамічних досліджень рекомендуються зразки малого розміру, вимірювання проводять з використанням коливань малої амплітуди. Динамічні параметри дають відомості про структуру і властивості, якими дійсно володіє матеріал, і які майже не змінюються в процесі вимірювань. При цьому на одному і тому ж зразку можна провести вимірювання швидко і точно в широкому інтервалі температур, не руйнуючи його [6, 13, 14].

Найбільшою роздільною здатністю характеризуються динамічні методи, в яких використовуються коливання частотою 0,2...2000 Гц. Правильний вибір діапазону частот може мати вирішальне значення для успішного вирішення конкретного дослідницького завдання [1, 6, 15]. Серед різних динамічних методів досліджень найбільшого поширення набули резонансні методи, особливо метод резонансних вимушених коливань консольно закріпленого стрижня. Застосування методу згинних резонансних коливань для тонких текстильних матеріалів та полімерних плівок, волокон [$d_0 = (1...10) \cdot 10^{-2}$] мм, обмежене зважаючи на мале значення згинної жорсткості останніх, що примушує для усунення тертя зразків об повітря проводити випробування у вакуумі. Внаслідок цього, а також геометричного чинника, підвищуються похибка і трудомісткість випробувань, особливо у виробничих умовах.

Слід зазначити, що цей напрям у вітчизняній літературі за винятком деяких робіт [6, 13] практично не висвітлено, в той час як більше 80 % всіх динамічних механічних вимірювань полімерних текстильних матеріалів, та плівок виконано на приладах такого типу [16, 17].

В'язкопружні властивості текстильних матеріалів можливо оцінювати цілим комплексом механічних показників або використовувати для цих цілей універсальні показники – модуль пружності

$E(t)$ і тангенс кута механічних втрат $\tan \delta$, на основі яких визначати інші функції [18, 19]. Використання динамічних методів випробувань у області лінійної в'язкої пружності дає можливість додатково отримувати цінну інформацію без руйнування проб [13, 20]: величину сил тертя, коефіцієнти жорсткості, максимальний і мінімальний напрямки усадки матеріалів та ступінь співпадання осей пружної симетрії з геометричними осями матеріалу.

При проведенні досліджень, важливими характеристиками, що визначають формостійкість деталей одягу, є пружні деформації за зміною яких можна судити про макроструктуру досліджуваного матеріалу.

Якщо детальне висвітлення динамічних методів випробувань у роботах [6, 11, 13, 20] пов'язані з вивченням в'язкопружних характеристик, а саме, ортотропних жорстких матеріалів (пластмас, плівок металів, волокнистих композитів) в діапазоні частот $10 \div 6 \cdot 10^3$ Гц і інтервалі температур $-60 \div +200$ °C, то на відміну від них матеріали для одягу мають більш широкий спектр анізотропних властивостей, які зазнають суттєвих змін у процесі дублювання [12].

3. Ціль та задачі досліджень

Мета дослідження полягала в удосконаленні оцінювання фізико-механічних властивостей матеріалів легкої промисловості.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- розробка методу і випробувальної установки для комплексного дослідження фізико-механічних властивостей текстильних і взуттєвих матеріалів та полімерних плівок;
- дослідження пружно-спадкові властивості текстильних матеріалів та
- полімерних плівок в широкому температурно-часовому діапазоні.

4. Матеріали та методи досліджень в'язкопружних властивостей текстильних матеріалів

Дослідження проводились на установці (рис. 1, а, б), яка призначена для дослідження динамічних властивостей текстильних матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань шляхом визначення комплексного модуля пружності E і декременту загасання δ в діапазоні температур $-20 \div 200$ °C.

Дослідна установка (рис. 1, а, б) являє собою модернізовану установку, приведену в роботі [7] і складається з механічної частини, коливальної системи, системи збудження і реєстрації коливань, термокріокамери, багато каскадної автоматичної системи стеження та пропорційного регулювання, що забезпечує підтримку в термокріокамері заданої температури та її змінення за заданою програмою. Основні технічні дані дослідної установки наведені в табл. 1.

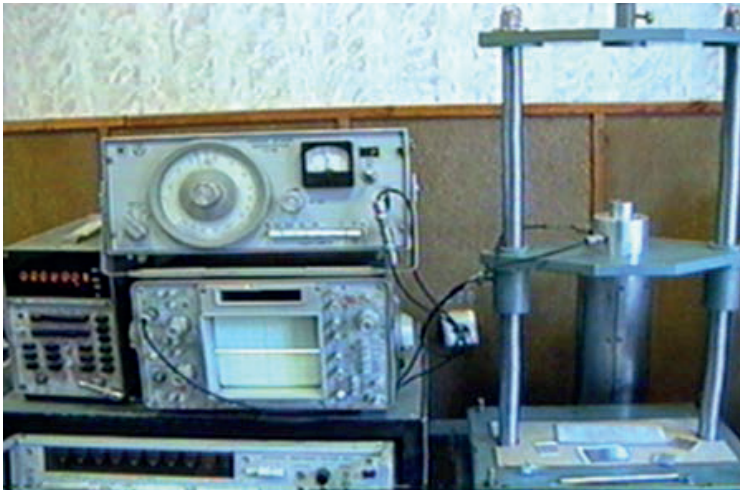
Механічна частина установки складається зі зварного корпусу 1 і опорної плити 2, на якій вста-

новлена механічна частина установки з коливальною системою і термокріокамерою. Опорна плита 2 підвищена на чотирьох струнах 3 до стійок 4. Струни 3 забезпечені регулювальними пристосуваннями 5, які забезпечують плавну зміну довжини струн, і, як результат, – зміну просторового положення опорної плити 2. Таке кріплення виключає витік енергії коливань досліджуваної системи та впливу на неї паразитних резонансів. Основою вібраційної частини установки є плита 6, з регулювальними гвинтами 7, на якій кріпляться дві напрямні колони 8, які з'єднані з верхньою нерухомою траверсою 9. До траверси кріпиться верхній захоплювач 10, який має можливість переміщуватись по центруючій втулці 11, що має можливість змінювати робочу довжину зразка. Устрій захоплювачів і термокамера були нами модернізовані стосовно розмірів проб тканин. Між плитою 6 і верхньою траверсою 9 по напрямних колонах 8 переміщується рухома траверса 12, на якій кріпиться система збудження і реєстрації поздовжніх коливань.

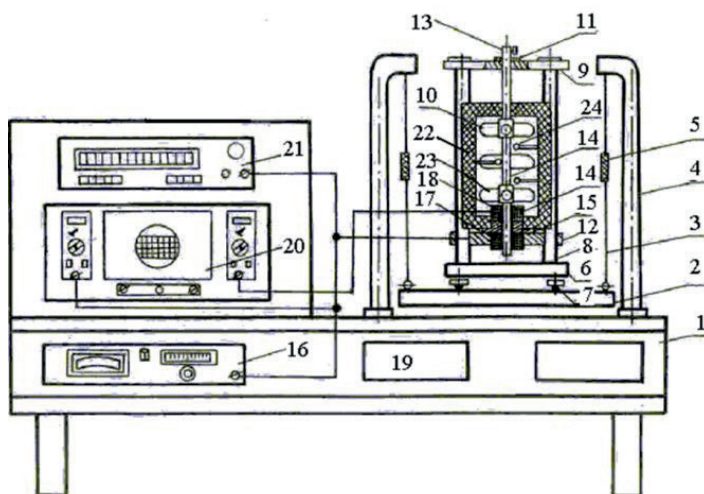
Таблиця 1

Основні технічні дані дослідної установки для визначення в'язкопружних властивостей текстильних та шкіряних матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань

Технічна характеристика	Технічні дані
Вид коливань по типу деформування проби	поздовжні
Діапазон частот синусоїдальних коливань, Гц	0,1–2000
Допустимі відхилення реєстрації моменту резонансу, с	10^{-5}
Відстань між захватами, мм 10-200	10–200
Найбільша товщина проб, мм	2
Ширина проб, мм	1–30
Номинальні значення маси змінних вантажів, кг	0,005–0,25
Робочий діапазон температур, °C	$-20 \div 200$
Ціна поділки шкали температур, °C	1,0
Допустиме відхилення від заданої температур, °C	0,5
Допустиме відхилення вимірювання періоду коливань, %	0,25
Габаритні розміри установки, мм	1150x600x1350
Маса установки, кг	70



а



б

Рис. 1. Дослідна установка та метод визначення в'язкопружних властивостей матеріалів методом поздовжніх резонансних коливань: а – загальний вигляд; б – структурна схема установки

У режимі ручного управління частотою генератора система збудження поздовжніх коливань проби складається з котушки збудження 15 і генератора низьких частот 16. Котушка збудження 15 встановлена в нижній частині спеціального екрану-тримача 17, який закріплений на рухомій траверсі 12. Екран-тримач 17 має можливість переміщуватись в двох взаємно перпендикулярних напрямках в горизонтальній площині, що дозволяє робити центрування проби 13 відносно вісі котушки збудження 15.

Система реєстрації коливань проби 13 складається з реєструючої котушки 18, широкосмугового підсилювача 19, осцилографа 20, електронно-рахункового частотоміра 21, мікропроцесорного комплексу управління (МКУ) 25.

Для проведення випробувань у широкому діапазоні температур ($-20 \div 200$ °C) установка забезпечена термокріокамерою 22 зі змінними нагрівальними безіндуктивними елементами 23. В якості датчиків температури використовуються три термодари 24, встановлені в безпосередній близькості від проби. Використання багато каскадної системи підтримки заданої температури дозволило створити рівномірне по висоті камери температурне поле без перемішування повітря тепловентилятором, що в свою чергу виключило вібраційні і магнітні перешкоди, що створювались повітряним потоком і двигуном тепловентилятора.

Максимальна похибка визначення динамічного модуля пружності E і декременту загасання δ не перевищує відповідно $\pm 1,5$ % і $\pm 2,5$ %.

Розрахункові вирази, які лягли в основу методики досліджень, отримані з урахуванням коливань системи з одним ступенем свободи, тобто поздовжніх коливань стриж-

ня, який жорстко закріплений одним кінцем з вантажем на другому кінці. При цьому збудження стрижня здійснюється зовнішньою гармонійною силою.

З урахуванням цього модуль пружності E рекомендується визначати, використовуючи вираз

$$E = 4\pi^2(M + m/3)l / FT_p^2, \quad (1)$$

де M – маса вантажу, кг; m – маса стрижня, кг; l – робоча довжина стрижня, м; F – площа поперечного перерізу проби, м²; T_p – період резонансних коливань, с.

У випадку дослідження текстильних матеріалів масою стрижня в порівнянні з масою вантажу, можна знехтувати. Тоді рівняння (1) можна представити у вигляді:

$$E = 4\pi^2 M l / FT_p^2. \quad (2)$$

Декремент загасання δ визначався за шириною резонансної западини амплітуди збуджувальної сили при постійній амплітуді проби. Суть методу полягає в тому, що при виникненні явища резонансу, визначається амплітуда коливань проби збуджувальною силою. Потім збільшують збуджувальну силу в N раз, що призводить до зростання амплітуди коливань

$$N = \frac{I_N^2}{I_p^2}, \quad (3)$$

де I_N і I_p відповідно струми у котушці збудження 15 при резонансі і при збільшенні збуджувальної сили у N раз.

При зміні частоти збуджувальної сили, вище і нижче від резонансної частоти, домагаються зменшення величини амплітуди коливань до заданого значення, що відповідає резонансній амплітуді. Ці значення частот і визначають ширину резонансної западини. Величина логарифмічного декременту загасання δ визначається за формулою:

$$\delta = \frac{\pi(T_1 - T_2)T_p}{T_1 T_2 \sqrt{N^2 - 1}}, \quad (4)$$

де T_p – період резонансних коливань, с; T_1 – період коливань при заданій температурі нижче резонансу, с; T_2 – період коливань при заданій температурі вище резонансу, N – коефіцієнт збільшення збуджувальної сили.

Основним інформативним параметром динамічних методів є динамічний модуль пружності матеріалу $E^* = E_1 + i \cdot E_2$. Зазвичай вважають, що дійсна частина динамічного модуля пружності співпадає фазою з деформацією та характеризує енергію, що накопичена матеріалом у результаті деформування. Уявна частина модуля пружності – модуль втрат. Модуль втрат відображає розсіяння енергії та не співпадає по фазі з деформацією.

У дослідженнях зручно оперувати величиною

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{E_2}{E_1} - \text{тангенс кута механічних втрат. Часто, коли}$$

за умов $\operatorname{tg} \delta \approx \alpha$ (де α – кут зсуву фаз), у визначенні динамічних властивостей матеріалу оперують дійсною частиною комплексного динамічного модуля E_1 та $\operatorname{tg} \delta \approx \alpha$.

В роботі умовно миттєвий модуль пружності E_0 було визначено за допомогою динамічних методів. Визначено модуль пружності матеріалу методом поздовжніх резонансних коливань

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (5)$$

де E – умовно-миттєвий модуль пружності матеріалу МПа; ρ – густина матеріалу кг/м³. Зміщення U залежить як від часу, так і від положення поздовжнього перетину стрижня, від координати x . Враховуючи динаміку експерименту $U = \sigma \cos(\omega t)$, (де σ – напруження матеріалу), отримуємо диференціальне рівняння

$$\frac{E_0}{\rho} \ddot{\sigma} + \omega^2 \sigma = 0, \quad (6)$$

Розв'язавши рівняння, у відповідності з початковими умовами, та виразивши модуль пружності, отримаємо

$$E_0 = \frac{4\pi^2 m_p L}{FT^2}, \quad (7)$$

де m – маса стрижня, кг; L – довжина зразка матеріалу, м; F – площа поперечного перетину зразка, м²; T – період резонансних коливань, с. Також встановлено значення тангенсу кута механічних втрат з співвідношення

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\delta}{\pi}, \quad (8)$$

де δ – декремент загасання коливань.

Похибка при визначенні модуля пружності визначається, як похибка опосередкованих вимірювань

$$\delta_{G_0} = \frac{4\pi^2}{F^2} \sqrt{(l^2 \Delta M^2 + M^2 \Delta l^2) F^2 + M^2 l^2 \Delta F^2}, \quad (9)$$

де ΔM , Δl , ΔF – відповідно похибки при визначенні M – маси вантажу, довжини l , та площі поперечного перетину зразка F відповідно.

Декремент загасання визначено методом резонансних піків. Змінюючи частоту збуджувальної сили, тобто зміщуючись за шкалою частот вище та нижче від резонансної частоти, досягали зменшення амплітуди коливань до $B_R/\sqrt{2}$, де B_R амплітуда резонансу. Відповідні значення частот визначають ширину резонансної зони. За шириною резонансного піка знаходили декремент згасання

$$\delta = (T_2 - T_1)T_p \pi / (T_1 T_2), \quad (10)$$

де T_1 та T_2 – періоди коливань, відповідно вище та нижче резонансної частоти коливань, с.

Похибка декременту згасання визначається як

$$\epsilon_\delta = \sqrt{\frac{(T_1 - T_2)^2 \Delta T_p^2}{T_1^2 T_2^2 (n^2 - 1)} + \frac{T_p^2}{n^2 - 1} \left(\frac{\Delta T_1^2}{T_1^4} + \frac{\Delta T_2^2}{T_2^4} \right)}, \quad (11)$$

де ΔT_p – похибка при визначенні періоду резонансних коливань, ΔT_1 та ΔT_2 – похибка при визначенні T_1 та T_2 відповідно, с.

Визначення акустичних параметрів матеріалу з рівнянь (9) та (11) призводить до значних похибок за рахунок складності визначення амплітуди коливань зразка та додаткової похибки опосередкованих вимірів. Нами запропоновано пряме, безпосереднє визначення кута механічних втрат за спрощеним алгоритмом технічного відтворення, що не потребує вимірювання амплітуди коливань.

Гармонічний сигнал можна представити у комплексному вигляді:

$$U_1 = Ae^{j\omega t},$$

де A – амплітуда коливань, м; ω – циклічна частота, рад; $\omega = 2\pi f$, де f – частота гармонічних коливань s^{-1} ; t – час, с. Враховуючи фазовий зсув між гармонічними сигналами, розглянемо випадок коли U_2 розповсюджується відносно U_1 з упередженням по фазі. Запишемо другий сигнал у комплексному вигляді

$$U_2 = Be^{j(\omega t + \phi)},$$

де B – амплітуда коливань, ϕ – фазовий зсув другого сигналу U_2 відносно сигналу U_1 .

Введемо позначення фази коливань гармонічного сигналу U_1 , як $T_1 = \omega t$. Тоді фаза сигналу U_2 визначить-ся з рівняння

$$T_2 = T_1 + \phi, \quad (12)$$

Використовуючи формулу Ейлера, запишемо рівняння (12) у вигляді

$$\cos T_2 + j \sin T_2 = \cos(T_1 + \phi) + j \sin(T_1 + \phi), \quad (13)$$

Використовуючи тригонометричні перетворення, отримуємо з рівняння (13)

$$\begin{aligned} \cos T_2 + j \sin T_2 &= \cos T_1 \cos \phi - \\ &- \sin T_1 \sin \phi + j(\sin T_1 \cos \phi + \sin \phi \cos T_1), \end{aligned} \quad (14)$$

Розглянемо окремий випадок, коли $T_1 = \pi$, перепишемо вираз (14) у вигляді:

$$\cos T_2 + j \sin T_2 = -\cos \phi - j \sin \phi, \quad (15)$$

відійдемо від тригонометричної форми запису комплексних чисел (15), запишемо аргумент комплексної змінної

$$\operatorname{tg} T_2 = \operatorname{tg} \phi, \quad (16)$$

$$\arctg(\operatorname{tg} T_2) + \pi n = \phi, \quad (17)$$

при $\phi \neq \pi/2(2n+1), T_2 \neq \pi/2(2k+1); n, k \in \mathbb{Z}$;

Розглядаючи випадок коли U_2 розповсюджується відносно U_1 з відставанням за фазою, вираз (12) запишемо у вигляді

$$T_2 = T_1 - \phi. \quad (18)$$

Використовуючи формулу Ейлера та відповідні тригонометричні перетворення, для окремого випадку, коли $T_1 = \pi$, отримуємо

$$\cos T_2 + j \sin T_2 = -\cos \phi + j \sin \phi. \quad (19)$$

Звідки

$$-\operatorname{tg} T_2 = \operatorname{tg} \phi, \quad (20)$$

$$-\arctg(\operatorname{tg} T_2) + \pi n = \phi, \quad (21)$$

$$\text{при } \phi \neq \pi/2(2n+1), T_2 \neq \pi/2(2k+1); n, k \in \mathbb{Z} \quad (22)$$

З наведених рівнянь видно, що запропонований метод є зручним у випадку технічного втілення, адже потребує визначення єдиного параметру – часу. Як відомо, технічно час визначити можна з більш високою точністю, ніж амплітуду сигналу. Запропонований метод не потребує складних математичних обчислень, не потребує перетворень електричного сигналу при технічному втіленні, що призводить до зменшення похибки вимірювань.

Запропонований метод особливо зручний у використанні при визначенні фазових кутів для коливань низької частоти, та кутів фазового зсуву у діапазоні $(-\pi/2; \pi/2)$ для гармонічних коливань.

У діапазоні кутів фазового зсуву $(-\pi/2; \pi/2)$ з урахуванням умови (22), при $t=0$, можна записати вирази (17) та (21) у вигляді відповідно

$$\arctg(\operatorname{tg} T_2) = \phi, \quad (23)$$

якщо U_2 розповсюджується відносно U_1 з упередженням по фазі, та

$$-\arctg(\operatorname{tg} T_2) = \phi, \quad (24)$$

коли U_2 розповсюджується відносно U_1 з відставанням за фазою. Отже, з виразів (23) та (24) бачимо, що фазовий зсув $|\phi|$ є абсолютним значенням кута відносного фазового зсуву двох гармонічних коливань. Знак фазового зсуву ϕ , якщо $\phi < 0$ на проміжку $\phi \in (-\pi/2; \pi/2)$, вказує на відставання U_2 відносно U_1 за фазою. Якщо $\phi > 0$, сигнал U_2 випереджає U_1 з фазовим зсувом $|\phi|$.

Технічно вимірювання часу розповсюдження коливань пропонується вести з допомогою послідовності каліброваних імпульсів наперед заданої тривалості та шпаруватості [13]. Таким чином похибка вимірювань часу є наперед заданою та може регулюватись в залежності від економічно обґрунтованої похибки вимірів.

5. Результати досліджень в'язкопружних властивостей текстильних матеріалів

На рис. 2 приведені залежності дійсної складової функції комплексного модуля (надалі динамічного модуля пружності) $E_1(\omega)$ тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластан 4) (крива 1) і тканини артикулу 15034 (вовна 88, еластан 12) (крива 2) від циклічної частоти навантаження з постійною амплітудою деформації, рівної $b_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ м.

З рис. 2 видно, що в діапазоні частот 100...115 Гц спостерігається незначне збільшення динамічного модуля пружності $E_1(\omega)$ з 9,68 МПа до 12,63 МПа,

для тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластан 4), з 42,78 МПа до 53,56 МПа для тканини артикулу 15034 (вовна 88, еластан 12) і з 38,75 МПа до 42,54 МПа для тканини артикулу 15634 (вовна 88, поліестер 12). Така незначна зміна динамічного модуля пружності характерна для склоподібного стану досліджених тканин при малих термінах випробування, що погоджується з даними, отриманими зі статичних випробувань на повзучість і релаксацію напружень.

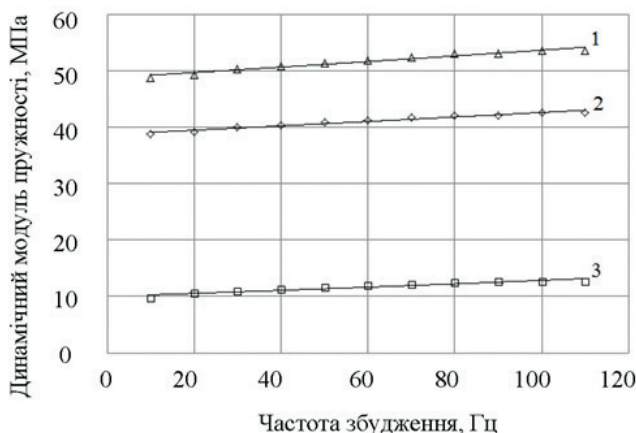


Рис. 2. Залежність динамічного модуля пружності $E_1(f)$ тканин артикулу 15034 (вовна 88, еластан 12) (крива 1), артикулу 15634 (вовна 88, поліестер 12) (крива 2) і артикулу 3683 (вовна 96, еластан 4) (крива 3) від частоти навантаження при температурі $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

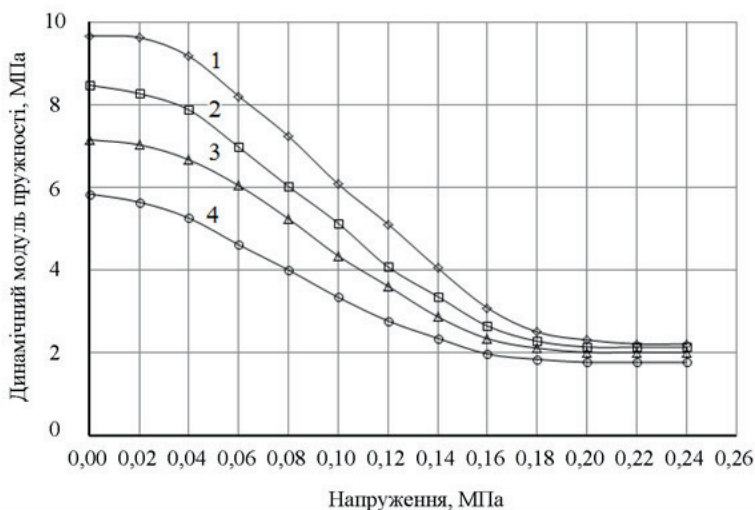


Рис. 3. Залежність динамічного модуля пружності $E_1(\omega)$ тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластан 4) від рівня постійного напруження, при температурах $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 1), $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 2), $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 3), $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 4)

Рис. 3 ілюструє вплив статичного напруження на динамічний модуль пружності $E_1(\omega)$ тканини артикулу 3683 (вовна 96, еластан 4), визначений при темпера-

турах $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 1), $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 2), $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 3) і $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (крива 4).

6. Обговорення результатів досліджень в'язкопружних властивостей текстильних матеріалів

Таким чином проведені дослідження показали, що при всіх температурах характер зміни динамічного модуля пружності $E_1(\omega)$ аналогічний. При невеликих напруженнях спостерігається практично постійне значення динамічного модуля пружності $E_1(\omega)$ на рівнях, обмежених нижніми довірчими інтервалами для 95 % довірчої імовірності, рівних 9,65 МПа для температури $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 8,5 МПа для температури $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 7,2 МПа при температурі $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ і 5,7 МПа при температурі $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зі збільшенням статичного напруження приблизно до 0,20 МПа при температурі $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$, до 0,18 МПа при температурі $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$, до 0,17 МПа при температурі $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і до 0,16 МПа при температурі $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, спостерігається практично лінійне зменшення динамічного модуля пружності, причому величина зниження динамічного модуля пружності зменшується з ростом температури. Надалі при всіх температурах з ростом напруження спостерігається наближення динамічного модуля пружності $E_1(\omega)$ до постійного значення, причому ці значення при температурі $T=80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2,22 МПа) і температурі $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1,78 МПа) відрізняються не більше ніж на 23,6 %.

7. Висновки

В даній роботі розроблено метод і випробувальну установку для комплексного дослідження фізико-механічних властивостей текстильних і зуттєвих матеріалів та полімерних плівок.

Було досліджено пружно-спадкові властивості текстильних матеріалів та полімерних плівок в широкому температурно-часовому діапазоні.

Встановлено, що область лінійності в'язкопружних властивостей тканин при температурі $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в умовах релаксації напружень у середньому більш ніж на 25–50 % ширше області лінійної в'язкопружності при повзучості, а по мірі збільшення температури розміри областей стають практично рівними.

Дослідження динамічного модуля пружності показало, що в діапазоні частот 100–135 Гц спостерігається практично постійне значення модуля для всіх досліджених матеріалів.

Отже розроблений метод і установка дозволили провести оцінювання фізико-механічних властивостей ряду тканин для пошиття верхнього одягу з прогнозованими експлуатаційними показниками.

Література

- ГОСТ 20812-84. Пластмассы. Определение динамического модуля сдвига и тангенса угла механических потерь методом свободных крутильных колебаний [Текст] / Введ. 1992-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 27 с.

2. ГОСТ 19873-84. Пластмассы. Резонансный метод определения динамических модулей упругости и коэффициентов потерь при колебаниях консольно закрепленного образца [Текст] / Введ. 1994-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 32 с.
3. Mogahzy, Y. E. Engineering textiles, Integrating the design and manufacture of textile products [Text] / Y. E. Mogahzy. – The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, 2009. – 538 p.
4. Frontczak-Wasiak, I. Measuring Method of Multidirectional Force Distribution in a Woven Fabric [Text] / I. Frontczak-Wasiak, M. Snyderski, Z. Stempień, H. Suszek // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. – 2004. – Vol. 12, Issue 2 (46). – P. 48–51.
5. Darja, R. Alenka Auxetic Textiles [Text] / R. Darja, R. Tatjana, P.-U. Alenka // *Acta Chim. Slov.* – 2013. – Vol. 60. – P. 715–723.
6. Малкин, А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров [Текст] / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – М.: Химия, 1978. – 336 с.
7. Кострицкий, В. В. Методика и испытательная установка для исследования динамических свойств полимерных материалов [Текст] / В. В. Кострицкий // *Заводская лаборатория*. – 1990. – Т. 56, № 5. – С. 98–102.
8. Shi, Y. Realistic Rendering of Knitwear [Text] / Y. Shi, Y. Jiang // *Journal of Information and Computing Science*. – 2007. – Vol. 2, Issue 2. – P. 153–160.
9. De Carvalho, L. H. Comparison of the mechanical behavior of plain weave and plain weft knit jute fabric-polyester-reinforced composites *Polymer* [Text] / L. H. De Carvalho, J. M. F. Cavalcante, J. R. M. d'Almeida // *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. – 2006. – Vol. 45, Issue 7. – P. 791–797. doi: 10.1080/03602550600611933
10. Kononova, O. Modelling and Experimental Verification of Mechanical Properties of Cotton Knitted Fabric Composites [Text] / O. Kononova, A. Krasikovs, K. Dzeltis, G. Kharkova, A. Vagel, M. Eiduks // *Estonian Journal of Engineering*. – 2011. – Vol. 17, Issue 1. – P. 39–50. doi: 10.3176/eng.2011.1.05
11. Кокошвили, С. М. Методы динамических испытаний жёстких полимерных материалов [Текст] / С. М. Кокошвили. – Рига: Зинатне, 1978. – 182 с.
12. Луцык, Р. В. Взаимосвязь деформационно-релаксационных и тепломассообменных процессов [Текст] / Р. В. Луцык, Ю. Л. Ментковский, В. П. Холод. – К.: Вища школа, 1992. – 183 с.
13. Перепечко, И. И. Акустические методы исследования полимеров [Текст] / И. И. Перепечко. – М.: Химия, 1973. – 296 с.
14. Ферри, Дж. Вязкоупругие свойства полимеров [Текст] / Дж. Ферри. – М.: 1963. – 536 с.
15. Пристрій для виміру властивостей матеріалів, що демпфують, при вільних коливаннях. Пат. 2002042904 Україна: МПК(2003) G01H1/10, [Текст] / Демішонкова С. А., Пушнов Р. В., Кострицький В. В., Артеменко Л. Ф. – заявник і власник КНУТД. – №53238; заяв. 11.04.2002; надрук. 15.01.2003, Бюл. № 1.
16. Davis, V. M. A Forced Torsional Oscillator for Dynamic Mechanical Measurements [Text] / V. M. Davis, C. W. Macosko // *Polymer Engineering and Science*. – 1977. – Vol. 17, Issue 1. – P. 32–37. doi: 10.1002/pen.760170106
17. Worth, R. A. The Dynamic Properties of Glassfiber-reinforced polypropylene subjected to pure bending [Text] / R. A. Worth // *Polymer Engineering and Science*. – 1986. – Vol. 26, Issue 19. – P. 1293–1296. doi: 10.1002/pen.760261902
18. Демішонкова, С. А. Методи інтерпретації в'язкопружних властивостей полімерних, шкіряних та текстильних матеріалів [Текст] / С. А. Демішонкова, В. В. Кострицький, Л. Ф. Артеменко, М. Є. Скиба // *Вісник КНУТД*. – 2008. – Т. 1, № 4. – С. 5–18.
19. Демішонкова, С. А. Прогнозування в'язкопружних властивостей текстильних матеріалів [Текст] / С. А. Демішонкова, Л. Ф. Артеменко, В. В. Кострицький // *Вісник КНУТД*. – 2013. – № 3. – С. 7–12.
20. Кениг, Дж. Новейшие инструментальные методы исследования структуры полимеров [Текст] / Дж. Кениг. – М.: Мир, 1982. – 264 с.